



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE LA DESHIDRATACIÓN
OSMÓTICA EN CARAMBOLA (*Averrhoa carambola L.*)**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA DE ALIMENTOS**

CINTHYA PAOLA RAMÓN VACAS

DIRECTOR: ING. JUAN BRAVO Ph.D.

Quito, Febrero, 2013

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2013
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **CINTHYA PAOLA RAMÓN VACAS**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Cinthy Ramón Vacas

CI. 1719670323

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título **Estudio de la Aplicación de la Deshidratación Osmótica en Carambola (*Averrhoa carambola L.*)**, que, para aspirar al título de Ingeniera de Alimentos fue desarrollado por **Cinthya Ramón**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.

Ing. Juan Eduardo Bravo Vásquez

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I.1001367414

DEDICATORIA

A Dios, quien guía mi vida y la llena de bendiciones para ser una buena persona cada día.

A mi esposo Andrés y a mis hijos Martín y Luciana que son el pilar de mi vida, su amor incondicional me motiva día a día para ser mejor y juntos alcanzar el éxito y nunca decaer.

A mis padres Galo y Amparo que han sido un ejemplo en mi vida, con su apoyo incondicional y sus sabios consejos me han enseñado que jamás en la vida se debe dejar de luchar por los sueños y metas que uno se proponga.

A mi Espita, quien con su apoyo y ayuda incondicional con el cuidado de mis hijos ha permitido que culmine mis estudios.

A mis hermanas Amparito, Rocío y Sofía, por su cariño y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

A Dios, que con su gran amor ha bendecido mi vida, poniendo a mi lado un esposo excelente, respetuoso y amoroso; ser madre de dos hijos maravillosos Martín y Luciana, ser hija de un ejemplo de padres Galo y Amparo y convivir día a día con los seres que más amo, que con su apoyo y ayuda incondicional ha sido una motivación para culminar con mis estudios.

A mi director de tesis, el Ing. Juan Bravo por brindarme su confianza, paciencia y su valiosa ayuda en el desarrollo de la tesis.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	PÁGINA
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. CARAMBOLA (<i>Averrhoa carambola L.</i>)	4
2.1.1. COSECHA Y POSCOSECHA	5
2.1.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL	6
2.1.3. FORMAS DE CONSUMO	7
2.1.4. PRODUCCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL	7
2.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	8
2.2.1. EFECTOS DE LAS VARIABLES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	14
2.2.1.1. Naturaleza del alimento	15
2.2.1.2. Naturaleza del agente osmótico	15
2.2.1.3. Concentración de la solución osmótica	16
2.2.1.4. Temperatura	16
2.2.1.5. Presión de trabajo	17
2.2.2. VENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	18
2.2.3. DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	19
2.2.4. CINÉTICA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	19
2.2.4.1. Pérdida de peso en la fruta	20
2.2.4.2. Pérdida de agua en la fruta	20
2.2.4.3. Ganancia de sólidos en la fruta	21
3. METODOLOGÍA	22
3.1. MATERIA PRIMA	22
3.2. SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	22
3.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	23
3.3.1. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	24

	PÁGINA
3.3.2. SELECCIÓN Y LAVADO	24
3.3.3. SECADO	24
3.3.4. CORTADO	24
3.3.5. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	24
3.3.6. LAVADO, ESCURRIDO Y PESADO	25
3.3.7. SECADO EN EL DESHIDRATADOR	25
3.4. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO	25
3.4.1. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES	25
3.4.2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD	26
3.4.3. DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE	26
3.4.4. DETERMINACIÓN DE pH	26
3.4.5. DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD DE AGUA	26
3.5. ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	27
3.5.1. DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE PESO	27
3.5.2. PÉRDIDA DE AGUA Y GANANCIA DE SÓLIDOS SOLUBLES	27
3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	28
4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA	28
4.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA CARAMBOLA	29
4.2.1. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD	29
4.2.2. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN EL CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES	31
4.2.3. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN EL pH	33
4.2.4. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN EL PORCENTAJE DE ACIDEZ	34
4.2.5. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	

	PÁGINA
EN LA ACTIVIDAD DE AGUA	36
4.2.6. ESTUDIO CINÉTICO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN CARAMBOLA	37
4.2.6.1. Efecto de la deshidratación osmótica en la pérdida de peso	38
4.2.6.2. Efecto de la deshidratación osmótica en la pérdida de agua	39
4.2.6.3. Efecto de la deshidratación osmótica en la ganancia de sólidos solubles	41
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. CONCLUSIONES	43
5.2. RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXOS	49

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Composición química de la Carambola	6
Tabla 2. Caracterización físico-química de carambola fresca	28
Tabla 3. Variación del contenido de humedad después de la deshidratación osmótica en carambola	31
Tabla 4. Variación de los sólidos solubles después de la deshidratación osmótica en carambola	32
Tabla 5. Variación del pH después de la deshidratación osmótica en carambola	33
Tabla 6. Variación del porcentaje de acidez después de la deshidratación osmótica en carambola	34

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Fruto de Carambola	5
Figura 2. Regionalización de carambola en el Ecuador	8
Figura 3. Esquema de la transferencia de masa durante la DO	10
Figura 4. Esquema de sistema de deshidratación osmótica. 1. Bandeja térmica, 2. Agitador electrónico y 3. Porta muestras	22
Figura 5. Esquema del proceso de deshidratación osmótica de carambola	23
Figura 6. Contenido de humedad durante la deshidratación osmótica de carambola.	30
Figura 7. Ganancia de sólidos solubles durante la deshidratación osmótica	32
Figura 8. Aumento del pH en relación con la carambola fresca	34
Figura 9. Variación del porcentaje de acidez entre carambola fresca y rodajas de carambola deshidratadas osmóticamente	35
Figura 10. Contenido de actividad de agua durante la deshidratación osmótica de carambola	37
Figura 11. Pérdida de peso durante la deshidratación osmótica de carambola	39
Figura 12. Pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de carambola	40
Figura 13. Ganancia de sólidos solubles durante la deshidratación osmótica de carambola	41

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1	
PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE CARAMBOLA	48

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo estudiar la aplicación de la Deshidratación Osmótica en carambola (*Averrhoa carambola L.*). El estudio fue realizado en la planta piloto de la Universidad Tecnológica Equinoccial ubicada en la ciudad de Quito. Las frutas de carambola en estudio fueron provenientes de la provincia de Manabí, se obtuvieron en el mercado Mayorista. La materia prima fue seleccionada manualmente, se rechazó aquellas que presentaron magulladuras y golpes, se lavó eliminando las impurezas y se secó con papel absorbente. Se obtuvo rodajas de carambola con un espesor de $4\text{mm} \pm 1$ con la ayuda de un rebanador eléctrico y se retiró las semillas. Las rodajas de carambola fueron analizadas físico-químicamente después se pesaron en porta muestras para ser sometidas al proceso de deshidratación osmótica, que consistió en sumergir los porta muestra en soluciones osmóticas de diferentes concentraciones (40, 50 y 60 °Brix) con una temperatura constante de 35°C durante 4 horas y agitación de 300 RPM. Se realizó el estudio de la cinética de deshidratación osmótica con el control de la pérdida de peso cada hora y al final del proceso de deshidratación osmótica se analizó la humedad, pH, acidez, contenido de sólidos solubles y a_w . Finalmente con los datos obtenidos se aplicaron las ecuaciones para determinar los porcentajes de pérdida de peso y agua, y ganancia de sólidos solubles; mediante los resultados obtenidos el tratamiento que favoreció en la cinética de la deshidratación osmótica fue el de la concentración de 60°Brix ya que la pérdida de peso fue de 61.27%, pérdida de agua de 71.52% y una ganancia de sólidos solubles de 41%. Concluyendo que mientras mayor es la concentración de la solución osmótica se produce una mayor transferencia de masa, es decir que el agua de la fruta migra hacia la solución favoreciendo al aumento de sólidos solubles a la misma.

ABSTRACT

This investigation permitted to study the application of the Osmotic Dehydration in carambola (*Averrhoa carambola L.*). The study was carried out in the pilot plant of the Equinoctial Technological University located in the city of Quito. The fruits of carambola in study were originating from the province of Manabí, they were obtained in the Mayorista market. The raw material was selected by hand, rejecting those that presented bruises and blows, washed eliminating the impurities and drying with paper towel. It was obtained slices of carambola with a thickness of $4\text{mm} \pm 1$ and take out the seeds. The slices of carambola were analyzed physicist-chemically later they weighed in carries samples for to be submitted to the process of osmotic dehydration, that consisted of submerging sample in osmotic solutions of different concentrations carries them 40, 50 and 60 °Brix with a constant temperature of 35°C for 4 hours and agitation of 300 RPM. The study of the kinetic of osmotic dehydration with the control of the loss of weight was carried out each hour and in the end of the process of osmotic dehydration the humidity was analyzed, pH, acidity, content of soluble solids and a_w . Finally with the data obtained apply the equations to determine the weight loss percentages and water, and profit of soluble solids by means of the results obtained the processing that favored in the kinetic one of the osmotic dehydration was that of the concentration of 60° Brix of the osmotic solution since the loss of weight was of 61.27%, loss of water of 71,52% and a profit of soluble solids of 41%. Concluding that while greater is the concentration of the osmotic solution is produced a greater transfer of mass, that is to say that the water that leaves since the fruit toward the solution favors to that the soluble solids enlarge in the fruit.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad los consumidores están tomando mayor importancia acerca de llevar un estilo de vida más saludable, es decir, llevar una alimentación variada y equilibrada. Dentro de ésta, el consumo de frutas es muy importante, ya que son una fuente significativa de vitaminas, minerales, fibra, hidratos de carbono y otros compuestos antioxidantes que ayudan a mantener una buena salud. Los cambios sociales están provocando que el consumo de fruta fresca sea sustituido por productos preparados y envasados, mucho más estables y fáciles de consumir. En este sentido el mercado de la fruta debe adaptarse a estos cambios y ofrecer productos preparados estables y listos para su consumo (Oleaga, 2007).

En el país existe una producción variada de frutas, y su industrialización se limita a la elaboración de jugos, néctares o concentrados. Es importante, por lo tanto desarrollar tecnologías que permitan ampliar la gama de productos, que se puedan ofrecer a mercados internacionales utilizando frutas tradicionales y no tradicionales como es la carambola, conocida comúnmente como fruta china. Esta fruta se considera como exótica, es rápidamente perecible, por lo que para mantener su calidad comercial requiere un adecuado manejo poscosecha. No existen estudios relacionados con la industrialización de esta fruta a pesar que tiene una gran demanda en los mercados internacionales por su sabor, apariencia y propiedades nutricionales (Paredes, 2009).

La carambola (*Averrhoa carambola L.*) lamentablemente es una fruta no tradicional, por lo que el consumo nacional es escaso convirtiéndose en una fruta relegada únicamente a la población cercana a sus cosechas. Al no existir una producción significativa en el Ecuador su manejo poscosecha es muy deficiente (MAGAP, 2000). Sin embargo, se quiere dar un valor

agregado a la carambola mediante el tratamiento de deshidratación osmótica que es un método de conservación frecuentemente aplicado a frutas y hortalizas que permite reducir la actividad de agua (a_w) e incrementar su contenido de sólidos, permitiendo de esta manera darle mayor estabilidad y vida útil a la misma (Genina Soto, 2002).

La aplicación de deshidratación osmótica en carambola (*Averrhoa carambola L.*) es un estudio complementario al proyecto de investigación “Influencia del tratamiento UV-C sobre el tiempo de vida útil y propiedades antioxidantes de productos de IV gama (mínimamente procesados) de carambola (*Averrhoa carambola L.*)” ejecutado por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

- Estudiar la aplicación de la Deshidratación Osmótica en carambola (*Averrhoa carambola L.*).

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la cinética de deshidratación osmótica de carambola.
- Establecer los parámetros para la deshidratación osmótica de carambola.
- Analizar física-químicamente el producto deshidratado osmóticamente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. CARAMBOLA (*Averrhoa carambola* L.)

La carambola (*Averrhoa carambola* L.) o comúnmente conocida como fruta estrellada pertenece a la familia botánica de las *Oxalidáceas* y es originaria de Asia Tropical. Su cultivo se ha extendido a otros países tropicales de Asia y América. Los principales países productores son Tailandia, Brasil, Colombia y Bolivia (Casaca, 2005).

El árbol de carambola es de crecimiento amplio alcanzando hasta 12 metros de altura, es de copa abierta, según la variedad; el tallo es ramificado de corteza delgada, suave y quebradiza, del cual emergen ramas delgadas de coloración café grisáceo a café oscuro con hojas compuestas, alternas, suaves y de color verde brillante (Crane, 2005).

Las flores se disponen en racimos, en forma abundante y son de color blanco cremoso, rosa o rosa púrpura, con 5 pétalos y 5 sépalos; de ovario blanco verdusco de 2 a 4 óvulos. Algunas flores presentan pistilos más cortos que los estambres, debido a este fenómeno se requiere de polinización cruzada para la obtención de buenas cosechas. En dependencia de la variedad, las flores de la carambola tienen estilos largos o cortos (Crane, 2005).

El fruto de la carambola es una baya carnosa de forma ovoide a elipsoidal variada, con cinco aristas longitudinales y redondeadas que lo dotan de una típica sección en forma de estrella como se muestra en la Figura 1. En el tamaño y peso final de los frutos de carambola se observa una alta variabilidad, con una longitud que oscila entre 7 y 12 cm. La baya tiene una piel muy fina, lustrosa y comestible, de color entre verde o dorado y amarillo-anaranjado cuando está madura, es por eso que son susceptibles a daños por golpes y roces durante la cosecha. La pulpa es crujiente, de suave

textura y amarilla vidriosa. En estado maduro es jugosa, presenta un aroma agradable y un fino sabor agridulce (Casaca, 2005).



Figura 1. Fruto de Carambola
(FAO, 2006)

2.1.1. COSECHA Y POSCOSECHA

Los árboles de carambolas sembrados en áreas protegidas de los vientos pueden empezar a producir frutos a los 10 ó 14 meses después de plantarse o el indicador para el inicio de la cosecha es el cambio de color verde pálido a ligeramente amarillo, es decir, cuando ha alcanzado su periodo de madurez, el fruto es recolectado a mano ya que son susceptibles a daños por golpes y roces. La firmeza en este periodo es favorable para un manejo poscosecha (Casaca, 2005).

Los frutos son transportados para ser lavados, clasificados, empaçados, almacenados y embarcados. Su almacenamiento se da a una temperatura de 5°C con una humedad relativa de hasta 95% durante un periodo de alrededor de 21 días, sin que se produzcan daños o pérdidas significativas en la calidad de la fruta (Crane, 2005).

2.1.2. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL

El consumo de frutas tiene un gran valor nutricional ya que es una fuente importante de vitaminas, fibra, minerales y antioxidantes que ayudan al crecimiento y desarrollo del organismo. La carambola contiene pequeñas cantidades de hidratos de carbono simples y aún menores de proteínas y grasas, por lo que su valor calórico es muy bajo. Su pulpa es rica en oxalato de calcio y fibra soluble. Contiene una cantidad moderada de provitamina A y de vitamina C. En cuanto a minerales, destaca su contenido en potasio y pequeñas cantidades de otros como se indica en la Tabla 1 (Orduz & Rangel, 2002).

Tabla 1. Composición química de la Carambola

Parámetro	Valor	Unidad
Humedad	89.0-91.0	%
Sólidos Totales	10.3	%
Sólidos Solubles	7	°Brix
pH	2.16	
Proteína	0.6	g
Grasa	0.4	g
Carbohidratos	8.4	g
Fibra	0.9	g
Mineral	0.26-0.40	g
Calcio	5	mg
Fósforo	18	mg
Hierro	1.2	mg
Sodio	2	mg
Potasio	190	mg
Vitamina A (<i>B</i> -carotene)	1350	U.I.
Tiamina	0.04	mg
Riboflavina	0.02	mg
Niacina	0.3	mg
Acido Ascórbico	35	mg

(Díaz Robledo, 2004)
*Datos expresados en 100g de pulpa comestible de carambola

2.1.3. FORMAS DE CONSUMO

La carambola generalmente es consumida en fresco, entera, rebanada y en ensaladas. En cocina gourmet su demanda es mayor ya que su forma inusual tanto entera como rebanada es muy vistosa en decoraciones. Como fruta procesada se encuentra en jugos, mermeladas, fruta congelada, puré, compotas, frutas combinadas en almíbar, dulces, pasteles, tortas y deshidratada. Su virtud medicinal se atribuye a sus características dietéticas y nutritivas, también es utilizada para contener hemorragias y calmar la fiebre (FAO, 2006).

2.1.4. PRODUCCIÓN NACIONAL E INTERNACIONAL

El cultivo de carambola inició en los años 80 en el Ecuador, teniendo un limitado consumo interno y su siembra se da en el litoral ya que las condiciones climáticas son óptimas para su crecimiento (MAGAP, 2000).

Se cultiva en las poblaciones de Quinindé, Santo Domingo, La Maná, Quevedo, Bucay, El Triunfo y la región Amazónica como se muestra en la Figura 2, ya que cuentan con bosques húmedos tropicales, premontanos y suelos franco arcillosos de fácil drenaje, parámetros que ayudan a tener un cultivo de alto rendimiento. Actualmente los cultivos de carambola tienen una densidad por hectárea de 160 a 290 plantas, y la distancia de siembra es de 7 por 9 metros entre hileras y plantas teniendo un promedio de rendimiento de 28000 a 32000 kg/Ha en un periodo de nueve meses que es el inicio de cosecha, con un costo de producción de USD 4000 por hectárea (Paredes, 2009).

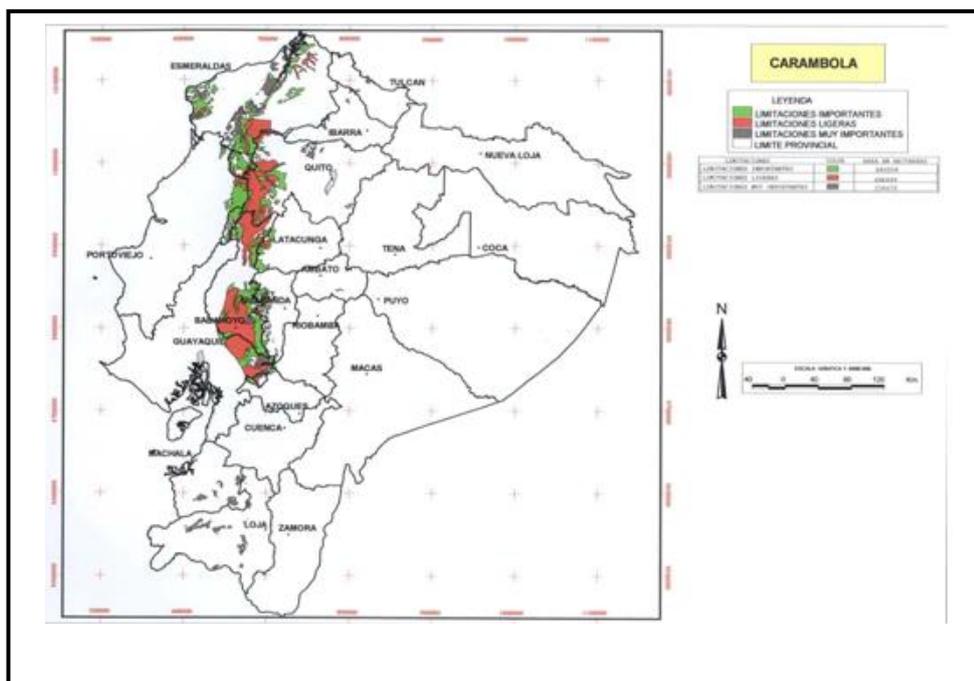


Figura 2. Regionalización de carambola en el Ecuador (Correa, Rule, & Daum, 2001)

Los principales países productores y exportadores hoy en día son Tailandia, Indonesia, Israel, Malasia, Brasil, Colombia y Bolivia. Otros países o zonas donde se tiene el cultivo de carambola para su comercialización son: Florida, Indonesia, Singapur, China, Taiwán, Malasia, Tailandia, Amazonia, Córdoba, Montería y Antioquia; incluido México que ya es productor de este cultivo. Los principales países importadores de carambola son: Alemania, Francia, Holanda y Estados Unidos (Casaca, 2005).

Los mercados europeos se proveen todo el año con fruta proveniente de Malasia, teniendo una gran demanda. Estados Unidos dispone de producción local del sur de Florida. En Florida fue introducida hace más de 100 años. Los frutos procedentes de las primeras plantas introducidas eran ácidos. Recientemente, se han introducido semillas y materiales vegetativos procedentes de Tailandia, Taiwán y Malasia que han permitido la selección de variedades más dulces (Crane, 2005).

2.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La Deshidratación Osmótica (DO) se presenta como una tecnología relativamente sencilla para la conservación de frutos, permitiendo modificar la composición del producto y, como consecuencia, mejorar sus propiedades nutricionales, sensoriales y funcionales. Se define así como el proceso de eliminación de agua natural mediante la inmersión de los productos alimenticios en una solución hipertónica (Genina Soto, 2002; Shi, 2008).

Esta inmersión de los productos alimenticios en la solución hipertónica tiene como objetivo producir tres flujos continuos de masa: flujo de agua desde el producto hacia la solución hipertónica, flujo de solutos hacia el interior del alimento y una lixiviación de solutos propios del alimento como vitaminas, minerales, ácidos orgánicos, entre otros como se muestra en la figura 3. En algunos casos se puede presentar la salida de solutos como son los ácidos orgánicos. Este fenómeno, aunque es poco importante por el bajo flujo de sólidos perdidos, puede modificar sustancialmente algunas propiedades del fruto como son las organolépticas (Bekele & Ramaswamy, 2010; Shi, 2008)

Genina (2002), explica que en el proceso de deshidratación osmótica se han identificado dos etapas. En la primera, denominada deshidratación, la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos y en una segunda etapa, llamada impregnación, se obtiene una ganancia de sólidos mayor a la pérdida de agua. En esta segunda etapa, la masa total del sólido aumenta con el tiempo.

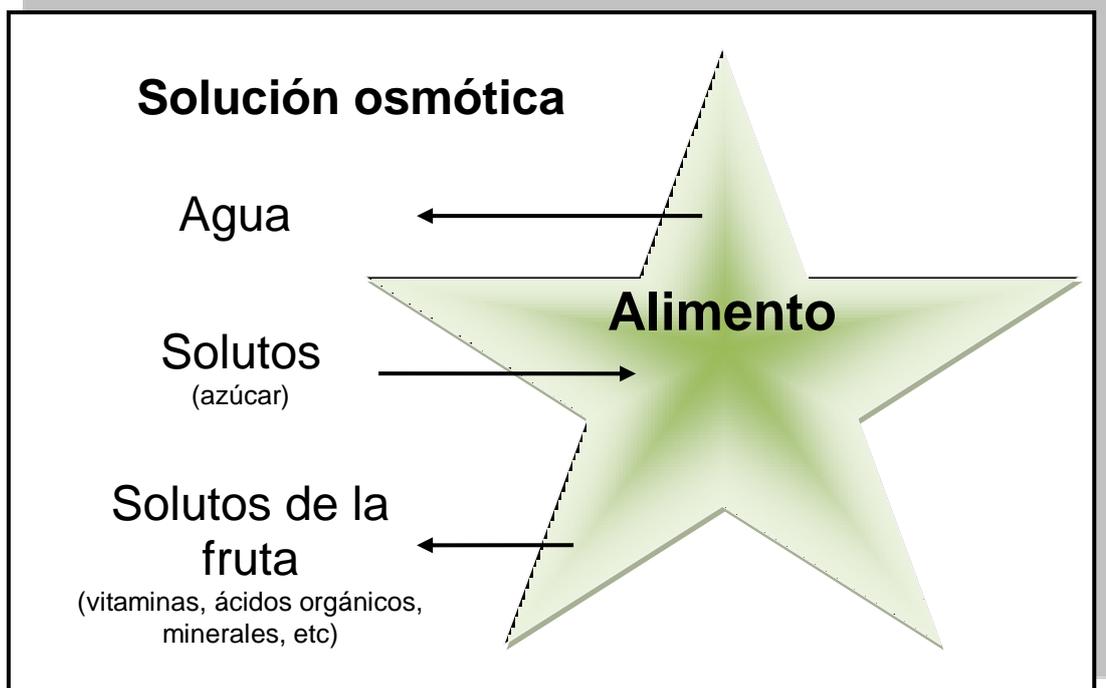


Figura 3. Esquema de la transferencia de masa durante la DO (Bekele & Ramaswamy, 2010)

Usualmente, la deshidratación osmótica no es aconsejable para obtener unas reducciones del contenido en agua superiores al 50%, a causa de la pequeña velocidad de los fenómenos de transferencia a estos niveles de concentración. Las velocidades de flujo de agua son altas durante las primeras 2 horas y la mayor cantidad de sólidos ganados ocurre dentro de los primeros 30 minutos de tratamiento. A partir de ese punto los flujos se hacen muy lentos (Conway & Sams, 1984; Giangiacomo, Torreggiani, & Abbo, 1987). La velocidad de transferencia de masa de sustancias hidrosolubles nativas (azúcares, ácidos orgánicos, minerales, sales, entre otros) que atraviesan la membrana, es muy pequeña, lo que hace que las pérdidas sean cuantitativamente despreciables (Dixon & Jen, 1977; Moreno, Chiralt, Escriche, & Serra, 2000).

En materiales porosos, como los tejidos de diversos alimentos, las cavidades de gas, paredes celulares y espacios inter y extracelulares pueden influir en la cinética del transporte de masas. En estas estructuras heterogéneas, el agua puede ser transportada simultáneamente por difusión molecular, difusión líquida, difusión de vapor (a través de flujo de gas), flujo hidrodinámico, transporte capilar y difusión superficial. Frecuentemente, ocurre transporte de agua por combinación de estos mecanismos debido a la mencionada complejidad de la estructura del tejido. Entonces, la cinética de la transferencia de masa depende de la estructura tisular del alimento así como de los parámetros de proceso (Suca & Suca, 2010).

Ponting et al (1966) describieron la deshidratación parcial de frutas por ósmosis. En este sistema la deshidratación fue obtenida por el equilibrio entre la presión osmótica ejercida por los solutos de la porción alimenticia en la membrana vegetativa natural y la solución de sacarosa saturada.

Flaumenbaum et al (1968) estudiaron la deshidratación osmótica de varias frutas y vegetales en soluciones concentradas de sacarosa. Encontraron que las zanahorias perdieron un gran porcentaje de su peso luego de 24 horas de inmersión, mientras que las uvas dieron mejores resultados. En adición, la deshidratación fue función de la temperatura y de la concentración de azúcar y luego del proceso no hubo oscurecimiento ni ablandamiento de la fruta.

De acuerdo con Lericci, Pinnavaia, Dalla, y Bartolucci (1985) con el tratamiento osmótico se obtiene un producto de humedad alta o intermedia, por lo que se hace necesario un procesamiento subsiguiente para alcanzar un producto estable. Desde los primeros estudios en los años 60, el tratamiento osmótico ha sido estudiado en combinación con el secado

convencional, secado al vacío, liofilización, secado solar, pasteurización, enlatado, congelamiento, adición de preservantes y/o acidificantes y revestimientos con películas comestibles de superficie. El campo de aplicación de esta técnica es amplio teniendo a las frutas, vegetales, carne y pescado como los principales productos tratados osmóticamente con un posterior procesamiento convencional de secado, obteniendo mejoras en sus características físico-químicas y sensoriales cuando se comparan con productos obtenidos sin tratamiento osmótico. Soluciones acuosas binarias y terciarias de mono, di y polisacáridos, sales orgánicas pueden ser usadas como agentes osmóticos. El mejoramiento de las propiedades nutricionales, sensoriales o funcionales o la estabilidad en el almacenamiento de los productos finales son logrados por la modificación de la composición química del material alimenticio a través de una remoción controlada de agua y una incorporación selectiva de solutos. Las principales razones para el interés actual del proceso de deshidratación osmótica son: la calidad de los productos, conjuntamente con el ahorro potencial de energía, por la remoción hasta el 50% del contenido de humedad inicial a bajas temperaturas sin cambio de fase.

Mercado y Vidal (1994) estudiaron la deshidratación osmótica de manzana con diferentes soluciones osmóticas, asegurando que la composición del jarabe y particularmente los polisacáridos influyen de manera directa, disminuyendo la ganancia de sólidos en los productos.

Sankat et al. (1996) y Uddin et al. (1990), trabajaron con rodajas de banana y piña al natural y deshidratada osmóticamente en soluciones de sacarosa, respectivamente, y observaron que la temperatura influyó en las cinéticas de secado, disminuyendo el tiempo de secado.

Para Talens et al. (1998), los cambios físicos y químicos ocurridos durante la deshidratación osmótica de frutas provocan modificaciones en la textura y apariencia del fruto, en diferente grado, dependiendo de las condiciones de proceso y las características del producto.

Sin embargo, se ha observado que la reducción en el contenido de agua y la ganancia de azúcares presenta algunos efectos crioprotectores sobre el color y la textura de las frutas.

Zapata y Castro (1999), citado por Aguilar et al, estudiaron la cinética de la deshidratación osmótica de piña con alcohol etílico como osmodeshidratante, utilizando soluciones de 80% de etanol, a temperatura ambiente (alrededor de 25 °C), en soluciones estáticas.

Giraldo et al., (2005) realizaron ensayos en mora (*Rubus glaucus*) y uvilla (*Physalis peruviana*), con geometrías semiesféricas (mitades) así la cinética de mora muestra mejor respuesta en el tratamiento con disolución de sacarosa a 65 °Brix, mientras que la uvilla presenta una buena respuesta en disoluciones de 65 y 55 °Brix.

Castro et al., (2005) estudiaron la cinética de deshidratación osmótica en uvilla (*Physalis peruviana*) en soluciones de miel de abeja con diferentes concentraciones, concluyendo que no siempre una disolución con elevada concentración garantiza una ganancia de solutos y una pérdida de agua mayor.

Zambrano et al., (2007), estudiaron el efecto de la deshidratación osmótica de chayote (*Sechium edule*), sobre la actividad de la peroxidasa y

polifenoloxidasas (PFO), estableciendo que el ácido cítrico y la concentración de la solución osmótica tienen un comportamiento sinérgico en cuanto a la inactivación de la PFO, ya que a 40 °Brix, inmersión en agua y temperatura de 35 °C, se muestra una menor actividad relativa.

Castillo y Cornejo (2007) afirman que mientras mayor es la concentración del jarabe de sacarosa, mayor será el incremento de sólidos en la fruta en ensayos realizados en carambola (*Averrhoa carambola L.*), además concluyeron que la deshidratación osmótica produce un incremento en la velocidad de transferencia de agua durante el proceso de secado convencional.

2.2.1. EFECTOS DE LAS VARIABLES DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Diferentes variables influyen en la velocidad de la deshidratación osmótica de los alimentos, reflejándose en el estado final del producto deshidratado (Ceballos, 2005). Estas variables son clasificadas como variables de proceso que hacen referencia a la naturaleza del agente osmótico, concentración de la solución osmótica, temperatura aplicada al proceso y la presión del trabajo (Barat & Grau, 1998); o las variables intrínsecas que se refieren al producto a deshidratar es decir, su naturaleza, tamaño, forma, estado de madurez, compactación de los tejidos, contenidos de sólidos solubles e insolubles, espacios intercelulares, la presencia de gas y la actividad enzimática, entre otras (Fito *et al.*, 1995). De acuerdo a esto se detalla a continuación aquellas variables que pueden afectar el proceso de deshidratación osmótica en carambola.

2.2.1.1. Naturaleza del alimento

Cada alimento tiene una estructura celular diferente, es decir su permeabilidad varía de acuerdo a su estado de madurez, estructura física, espacio intercelular, compactación del tejido, contenido de sólidos solubles y condiciones de almacenamiento. Factores que influirán al momento de la deshidratación osmótica en la pérdida de agua y ganancia de sólidos (Torregiani, 1996).

2.2.1.2. Naturaleza del agente osmótico

El comportamiento del producto durante el proceso de deshidratación osmótica es definido fundamentalmente por la naturaleza del agente osmótico. Su naturaleza puede ser electrolito o no electrolito, depende del comportamiento que tome en la interacción de los solutos con el agua y la matriz sólida del alimento ya que serán distintas. La disolución osmótica debe ser rica en solutos que deprimen la actividad de agua de la fruta y que creen una diferencia de presión osmótica entre el producto a deshidratar y la disolución. También el tamaño de la molécula del soluto dará una mayor o menor facilidad para atravesar la red tridimensional formada por los distintos constituyentes que conforman la estructura del alimento (Barat & Grau, 1998; Barrera, 2001)

La sacarosa es empleada generalmente en frutas ya que posee mayor poder osmótico al considerar las pérdidas de peso y agua (Hidalgo & Vargas, 2009), por su disponibilidad, sabor, aroma y disminución del pardeamiento enzimático (Karel, 1975; Tregunno, 1996).

2.2.1.3. Concentración de la solución osmótica

La fuerza impulsora para la transferencia de masa se ve afectada por la concentración de la solución osmótica, así como las distintas viscosidades de la solución osmótica y de la fase líquida del alimento llegan alcanzar su equilibrio en el proceso (Barat & Grau, 1998).

Diferentes estudios demuestran que al incrementar la concentración en la solución osmótica se produce una mayor pérdida de agua y ganancia de sólidos en la fruta. El tiempo del proceso es más corto a altas concentraciones ya que se producen grandes fuerzas impulsoras, pero se debe controlar su incremento para no dar lugar al fenómeno conocido como encostramiento, donde se forma una capa superficial en el alimento siendo una barrera para la transferencia de materia entre el producto y la solución osmótica (Barat & Grau, 1998; Heng & Guilbert, 1990).

2.2.1.4. Temperatura

En general, al incrementar la temperatura en el proceso se produce un mayor movimiento molecular que da lugar al aumento de la permeabilidad celular y la pérdida de agua y ganancia de solutos en el proceso es mayor ya que existe un aumento de la velocidad de transferencia de materia (Barat & Grau, 1998; Ceballos, 2005). A temperaturas menores de 40 – 50°C las membranas celulares mantienen su funcionalidad limitando la transferencia de masa, conserva su color y mantiene las características sensoriales de la fruta. Temperaturas superiores a las indicadas da lugar a la pérdida de actividad biológica celular acelerando mucho más el transporte, el cual afecta negativamente a la estructura del tejido de la fruta, así como a la textura, sabor y aroma (Quijano, 2011).

Por otro lado se debe tener presente que cada alimento deshidratado osmóticamente tiene diferente naturaleza por lo que cambios en la temperatura del proceso afectará directamente a su estructura, textura, funcionalidad, entre otros (Barat & Grau, 1998).

2.2.1.5. Presión de trabajo

En el proceso de deshidratación osmótica la presión de trabajo influye en el mecanismo y velocidad del mismo. Se desarrolla la deshidratación osmótica bajo presión atmosférica (OD), al vacío (VOD) y bajo la aplicación de un pulso de vacío (PVOD) (Barat & Grau, 1998).

El uso de impregnación a vacío en la deshidratación osmótica acelera la transferencia de materia por lo que se reduce el tiempo del proceso, consiste en ocluir el gas que se encuentra dentro de los poros a una determinada presión mediante la introducción masiva del líquido exterior en el interior del espacio poroso, expandiéndolo para equilibrar con la presión impuesta al sistema, al restituirse a la presión atmosférica el nuevo gradiente de presiones actúa como fuerza impulsora y hay una mayor penetración del líquido por capilaridad (Barat & Grau, 1998).

La aplicación del pulso al vacío requiere de equipos especiales y más costosos, sin embargo el beneficio que ofrece a la industria alimentaria en la reducción de tiempo en el proceso por la rápida transferencia de materia compensa la inversión (Quijano, 2011).

2.2.2. VENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

- La deshidratación osmótica es realizada a bajas temperaturas, permite que se conserve el color, sabor, textura, estabilidad del producto y la retención de los nutrientes durante el almacenamiento (Bekele & Ramaswamy, 2010).
- Las frutas si son sometidas a deshidratación osmótica conservan el sabor “fresco” (Torregiani, Forni, & Rizzolo, 2005).
- La alta concentración de soluto alrededor de la pieza previene el oscurecimiento, evitando así el uso de aditivos químicos como los sulfitos (Ponting, 1973).
- La reducción de la acidez mejora el sabor, en productos como las frutas (Ponting, 1973).
- La eliminación del agua se da sin cambio de estado por lo que la estructura de los alimentos tiene una mayor conservación (Munguruma, Katayama, & Nakamura, 1987).
- El proceso de deshidratación osmótica protege la pérdida de ciertos nutrientes hidrosolubles como la vitamina C en las frutas (Heng & Guilbert, 1990).
- En la industria la aplicación de la deshidratación osmótica ayuda a dar un uso eficiente a la energía de esta manera se reduce los costos de producción (Bekele & Ramaswamy, 2010).

2.2.3. DESVENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

- La reutilización de los jarabes causa inconvenientes debido al enturbiamiento que se produce por el desprendimiento de solutos y partículas de las frutas allí sumergidas y peligro a contaminación microbiana por microorganismos resistentes a los tratamientos térmicos higienizantes (Camacho, 2002).
- Dificultad para conservar los jarabes almacenados bajo condiciones que eviten su fermentación (Camacho, 2002).

2.2.4. CINÉTICA DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

El mecanismo de transporte predominante en el proceso de deshidratación osmótica es la difusión de agua a través de las membranas celulares, sin embargo, deben tenerse en cuenta también otros mecanismos difusionales y capilares que ocurren de forma solapada en los espacios intercelulares o poros del tejido (Rastogi, Raghavarao, & K., 2005).

La cinética de deshidratación osmótica, con frecuencia ha sido analizada en términos de velocidades de pérdida de agua, ganancia de sólidos y pérdida de peso del alimento (Ponting, 1973). Se ha propuesto un modelo (Barat & Grau, 1998; Fito & Chiralt, 1997) que contempla la cinética de los cambios de composición del producto a lo largo del proceso desde dos puntos de vista: por un lado los cambios de composición de la fracción líquida de la fruta, que determinan la calidad del producto y su estabilidad, y por otro lado, la cinética de pérdida de peso, asociada con la pérdida de agua y ganancia de solutos, que determina la rentabilidad del proceso.

2.2.4.1. Pérdida de peso en la fruta

La pérdida de peso porcentual de una fruta al ser inmersa a la deshidratación osmótica da una representación de la cantidad de agua que la fruta va perdiendo durante este proceso. Para esto se debe calcular la pérdida de peso mediante la aplicación de la ecuación 2.1.

$$\Delta P = \frac{(P_o - P_t)}{P_o} \times 100 \quad [2.1]$$

Donde:

ΔP : Porcentaje pérdida de peso en Carambola.

P_o : Peso de Carambola al tiempo cero.

P_t : Peso de Carambola al tiempo t.

2.2.4.2. Pérdida de agua en la fruta

El cálculo de pérdida de agua se basa en la diferenciación de las humedades iniciales y finales durante el proceso. El resultado se lo representa de manera porcentual mediante la aplicación de ecuación 2.2.

$$\Delta W = \frac{(P_o X_{wo} - P_t X_{wt})}{P_o} \times 100 \quad [2.2]$$

Donde:

ΔW : Porcentaje pérdida de agua en Carambola.

P_o : Peso de carambola al tiempo cero.

P_t : Peso de carambola al tiempo t.

X_{wo} : Humedad decimal en base húmeda al tiempo cero.

X_{wt} : Humedad decimal en base húmeda al tiempo t.

2.2.4.3. Ganancia de sólidos en la fruta

Los sólidos solubles son representados en forma porcentual y se calculan mediante la aplicación de la ecuación 2.3.

$$\Delta G = \frac{(P_o X_{so} - P_t X_{st})}{P_o} \times 100 \quad [2.3]$$

Donde:

ΔG : Porcentaje pérdida de agua en Carambola.

P_o : Peso de carambola al tiempo cero.

P_t : Peso de carambola al tiempo t.

X_{so} : Sólidos solubles en carambola al tiempo cero.

X_{st} : Sólidos solubles en carambola al tiempo

3. METODOLOGÍA

3.1. MATERIA PRIMA

Se utilizó carambola (*Averrhoa carambola L.*) proveniente de la provincia de Manabí, adquirida en el mercado Mayorista de la ciudad de Quito, con estado de madurez comercial.

3.2. SISTEMA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

El sistema de deshidratación osmótica se muestra en la Figura 4. El equipo estuvo compuesto de una bandeja térmica, un agitador electrónico, donde se mantuvo la solución osmótica a 35°C con una agitación constante de 300RPM durante el proceso de deshidratación osmótica por un tiempo de 4 horas.

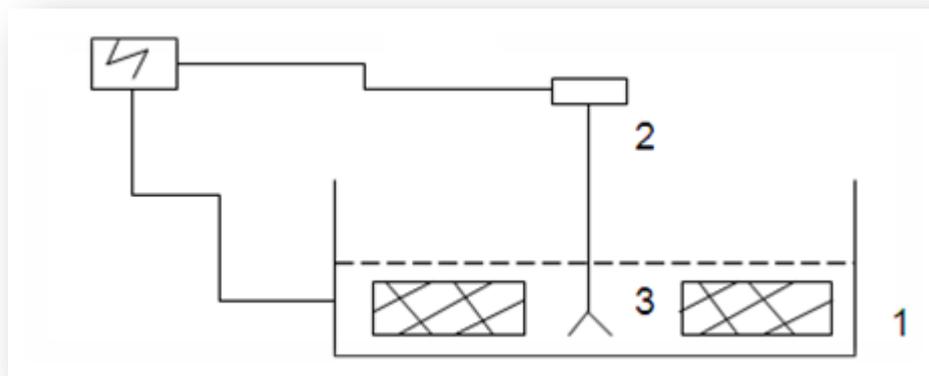


Figura 4. Esquema de sistema de deshidratación osmótica. 1. Bandeja térmica, 2. Agitador electrónico y 3. Porta muestras.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

En la figura 5 se presenta un esquema general del estudio de la aplicación de deshidratación osmótica en carambola.

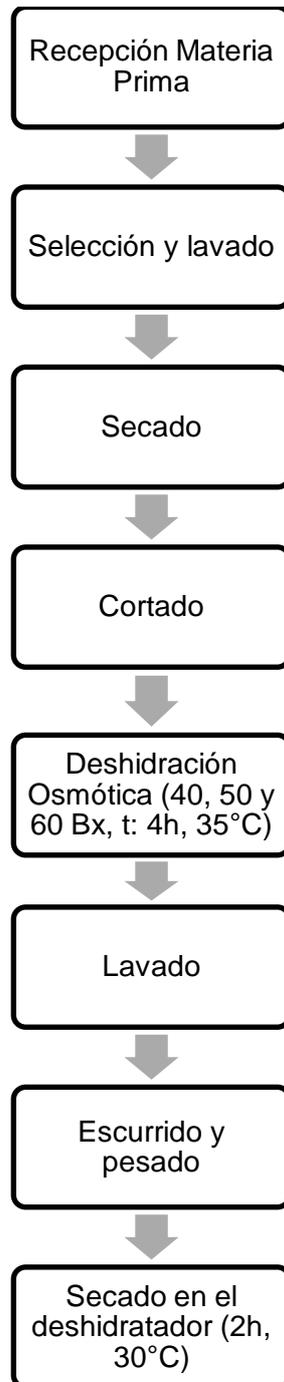


Figura 5. Esquema del proceso de deshidratación osmótica de carambola

3.3.1. RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

La carambola fue almacenada en refrigeración en recipientes de plástico cubiertos con papel film para evitar daños a la fruta.

3.3.2. SELECCIÓN Y LAVADO

Se realizó una selección manual de las frutas de carambola retirando aquellas que presentaron magulladuras, golpes y daños a simple vista, también se eliminó residuos extraños a la fruta. El lavado de las frutas, previamente seleccionadas se efectuó con agua potable para remover las impurezas.

3.3.3. SECADO

Se secaron las frutas con papel absorbente, evitando que su corteza se rompa o se golpee.

3.3.4. CORTADO

Las frutas de carambola fueron cortadas en rodajas de $4\text{mm} \pm 1$, con una cortadora eléctrica, marca AURORA FS04, 60 Hz y 130W. También se retiró las semillas presentes en las rodajas de carambola.

3.3.5. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Se pesó 50 ± 2 g de rodajas de carambolas y se colocó en cada porta muestra, se cubrió con malla plástica. Se sumergió en la solución osmótica

que fue preparada con azúcar invertida y agua potable. La solución osmótica se mantuvo a una temperatura de 35°C por un tiempo de 4 horas con agitación constante.

Se varió la concentración de la solución a 40, 50 y 60°Brix y cada hora se retiró los porta muestras para pesar y realizar el estudio de la cinética.

3.3.6. LAVADO, ESCURRIDO Y PESADO

Se retiraron los porta muestras de la solución osmótica, se escurrió el exceso de la misma. Enseguida se lavó con abundante agua potable para eliminar residuos de la solución osmótica y nuevamente se escurrió para eliminar el agua superficial.

Se pesó cada porta muestra con la ayuda de una balanza, marca Mettler Toledo ML802E.

3.3.7. SECADO EN EL DESHIDRATADOR

Se colocó las rodajas deshidratadas osmóticamente en el deshidratador por aire caliente, por 2 horas a una temperatura de 30 °C.

3.4. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

3.4.1. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES

Se determinó los sólidos solubles de la carambola fresca y las rodajas deshidratadas osmóticamente con un refractómetro, marca ATAGO, este análisis se realizó por triplicado.

3.4.2. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Se determinó la humedad de la carambola fresca y las rodajas deshidratadas osmóticamente mediante el método N° 930.15., de la A.O.A.C. (1996), este análisis se realizó por triplicado.

3.4.3. DETERMINACIÓN DE ACIDEZ TITULABLE

Se determinó la acidez titulable de la carambola fresca y las rodajas deshidratadas osmóticamente mediante el método N° 942.15., de la A.O.A.C. (1997), este análisis se realizó por triplicado.

3.4.4. DETERMINACIÓN DE pH

Se determinó el pH de la carambola fresca y las rodajas deshidratadas osmóticamente mediante el método N° 981.12., de la A.O.A.C. (1997), este análisis se realizó por triplicado.

3.4.5. DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD DE AGUA

Se midió la actividad de agua directamente con un equipo marca TESTO 650 con la muestra triturada, se realizó por triplicado.

3.5. ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

3.5.1. DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE PESO

Se determinó el peso de cada muestra, previo a la DO y durante el tratamiento con un intervalo de 1 hora, empleando para ello una balanza digital de 0.0001 g de precisión, marca Mettler Toledo ML802E, se pesó por triplicado. Se aplicó la ecuación 2.1 con los datos obtenidos.

3.5.2. PÉRDIDA DE AGUA Y GANANCIA DE SÓLIDOS SOLUBLES

Con los datos obtenidos en análisis de contenido de humedad, sólidos solubles y pérdida de peso se aplicó la ecuación 2.2 y 2.3 para cada hora determinando la pérdida de agua y ganancia de sólidos solubles en las rodajas de carambola.

3.6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados se analizaron mediante el análisis de varianza (ANOVA) para evaluar los efectos de los tratamientos durante el tiempo de exposición y se aplicó el método de comparación de medias LSD, utilizando el software STATGRAPHICS Centurion XV para Windows versión 15.2.05.

4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA

En la carambola fresca se determinó el contenido de humedad, porcentaje de acidez, pH, actividad de agua y sólidos solubles, de acuerdo a la metodología descrita en el numeral 3.4, y cuyos resultados se exponen en la Tabla 2.

Tabla 2. Caracterización físico-química de carambola fresca

Análisis	Carambola fresca		
Humedad (%)	90.52	±	0.42
Acidez (%)	0.333	±	0.02
pH	3.53	±	0.21
Actividad de agua (%)	96.76	±	0.09
Sólidos solubles (°Brix)	7	±	1.00

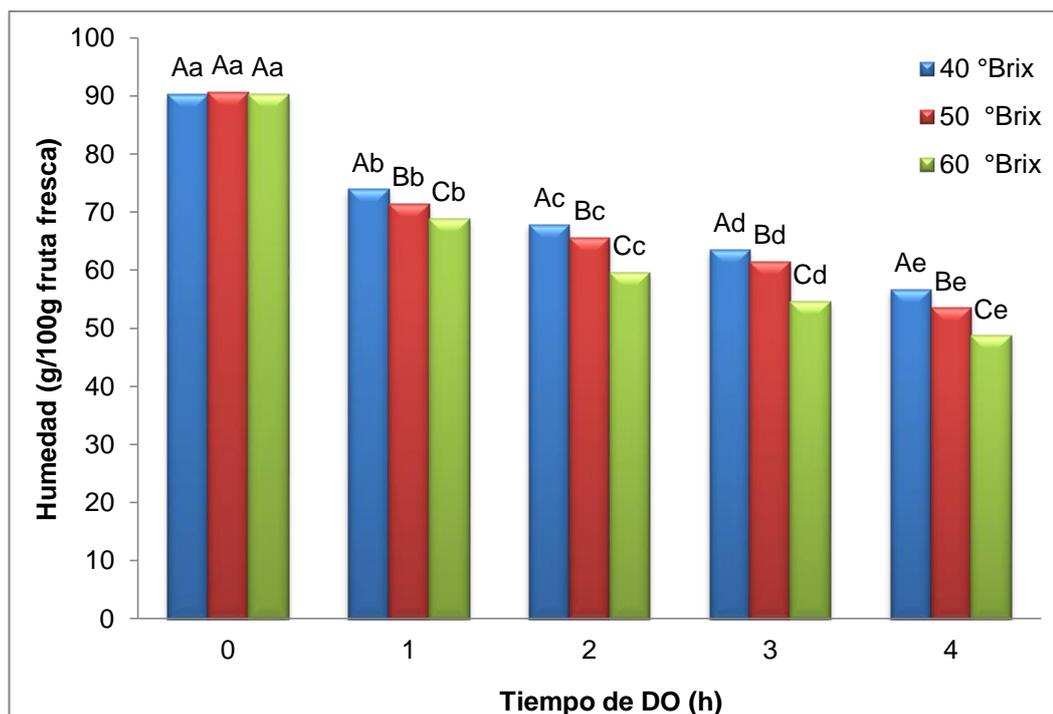
Los datos de contenido de humedad y sólidos solubles, se asemejan a los datos que se presentó en la tabla 1, mientras que el pH es ligeramente mayor esto puede ser debido a la variedad de carambola, corroborando a que está fruta es considerada como ácida.

4.2. DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE LA CARAMBOLA

Luego de aplicar el procedimiento descrito, en el numeral 3, para la deshidratación osmótica, se obtuvieron los resultados que se indican en los numerales siguientes; a la vez que se analiza el efecto de la concentración de la solución en el contenido de humedad, sólidos solubles, porcentaje de acidez, pH, actividad de agua, ganancia de sólidos y pérdida de agua y peso.

4.2.1. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN EL CONTENIDO DE HUMEDAD

Durante el proceso de deshidratación osmótica el contenido de humedad disminuye por el intercambio que se da entre la fruta y la solución osmótica, pues mientras migra agua desde la fruta hacia la solución, la solución osmótica incorpora azúcares a la fruta. Esto se confirma con los valores de humedad reportados cada hora para cada tratamiento como se observa en la Figura 6, de igual forma durante las dos primeras horas de inmersión existió una mayor pérdida de humedad como menciona Conway et al. (1983); Guennegues (1986) y Giangiacomo et al., (1987).



Letras mayúsculas distintas indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para un mismo tiempo de inmersión. Letras minúsculas distintas indican que existe diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo de inmersión para un mismo tratamiento con una $p < 0,05$. $LSD = 0.32$.

Figura 6. Contenido de humedad durante la deshidratación osmótica de carambola.

Después de cuatro horas de deshidratación osmótica se produjo una pérdida de humedad que fluctuó entre 48.75 y 56.76% en los tres tratamientos (Figura 6). Se observó que en la concentración de jarabe 60 °Brix hubo mayor pérdida de humedad, es decir que la concentración tuvo influencia directa con la pérdida de humedad.

Tabla 3. Variación del contenido de humedad después de la deshidratación osmótica en carambola

TRATAMIENTO	% HUMEDAD
40 °Brix	56.76 ± 0.435^a
50 °Brix	53.52 ± 0.386^b
60 °Brix	48.75 ± 0.422^c

*± desviación estándar de 3 repeticiones

Letras diferentes en una misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$)

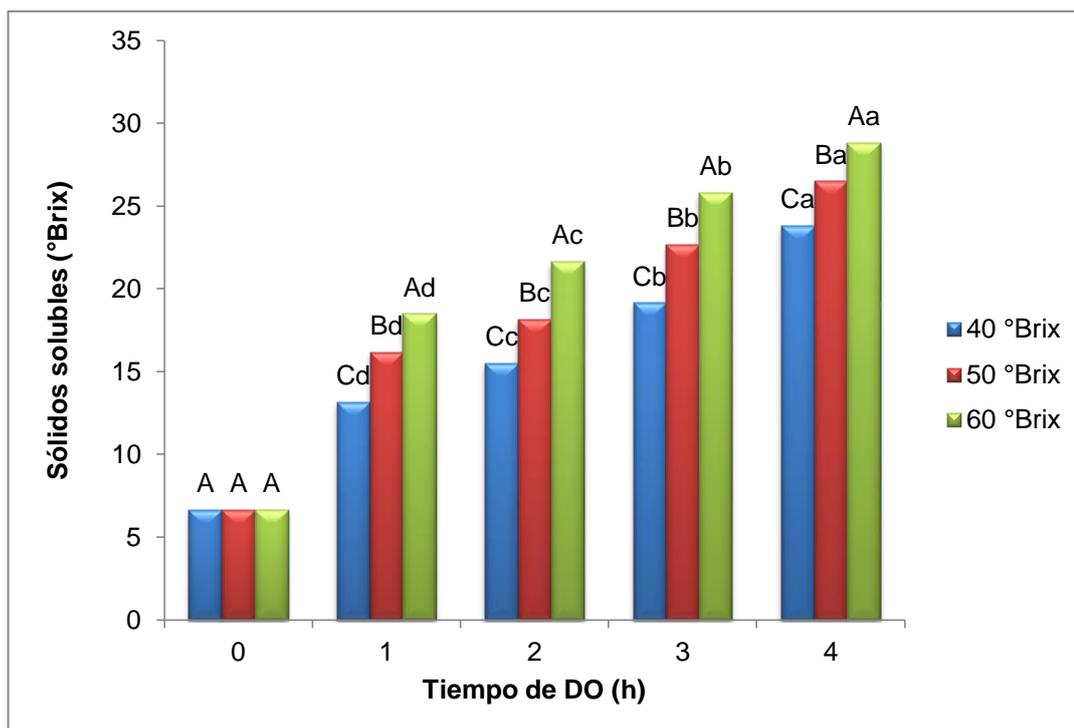
Mediante el análisis de varianza se determina que sí existen diferencias significativas en la humedad de las rodajas de carambola entre los tratamientos. Los valores que se muestran en la Tabla 3 indican que a mayor concentración de la solución osmótica mayor es la pérdida de humedad.

Además, Zamora (2008) indica que el contenido de humedad es un factor de calidad en la conservación de la mayoría de frutas teniendo una mayor incidencia en su estabilidad y tiempo de vida útil.

4.2.2. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN EL CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES

El contenido de sólidos solubles en las rodajas de carambola durante la aplicación de la deshidratación osmótica tuvo un aumento de cuatro veces su valor con respecto a la carambola fresca como se observa en la figura 7. Además, el análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre los tratamientos para cada tiempo y entre cada tiempo en un mismo tratamiento.

Determinando que durante las cuatro horas de inmersión se efectuó la transferencia de solutos desde la solución osmótica hacia el interior de la fruta incrementando azúcares del producto. Castillo y Cornejo (2007) afirman que mientras mayor es la concentración de la solución osmótica, mayor será el incremento de sólidos en la fruta en ensayos realizados en carambola (*Averrhoa carambola L.*).



Letras mayúsculas distintas indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para un mismo tiempo de inmersión. Letras minúsculas distintas indican que existe diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo de inmersión para un mismo tratamiento con una $p < 0,05$. $LSD = 0.954$.

Figura 7. Ganancia de sólidos solubles durante la deshidratación osmótica

De igual forma a medida que transcurrió el tiempo de 4 horas de deshidratación osmótica de las rodajas de carambola, aumentó el contenido de sólidos solubles en los tres tratamientos como lo reflejan los datos de la Tabla 4.

Tabla 4. Variación de los sólidos solubles después de la deshidratación osmótica en carambola

TRATAMIENTO	°BRIX
40 °Brix	23.83 ± 1.04^c
50 °Brix	26.5 ± 0.5^b
60 °Brix	28.33 ± 0.58^a

*± desviación estándar de 3 repeticiones

Letras diferentes en una misma columna indica diferencia significativa ($p < 0.05$)

El análisis de varianza muestra diferencias significativas entre todos los tratamientos con un nivel de confianza del 95%. Estos valores afirman lo descrito por Hidalgo y Vargas (2009), que los valores altos de sólidos solubles en la solución osmótica ayuda a ganar sólidos solubles a la fruta en un tiempo determinado de deshidratación osmótica y también puede ser favorable a las características sensoriales finales del producto, además de dificultar el crecimiento microbiano.

4.2.3. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN EL pH

Al realizar el análisis de varianza se determinó diferencias significativas en el parámetro de pH de las rodajas de carambola deshidratadas osmóticamente después de cuatro horas de inmersión en los tratamientos de 60 y 40 °Brix y 50 y 40 °Brix mientras que no existió diferencias significativas entre los tratamientos de 60 y 50 °Brix como se observa en la Tabla 5. Este hecho podría deberse a la baja concentración de la solución osmótica siendo un indicador que la transferencia de masa fue menor que los otros tratamientos.

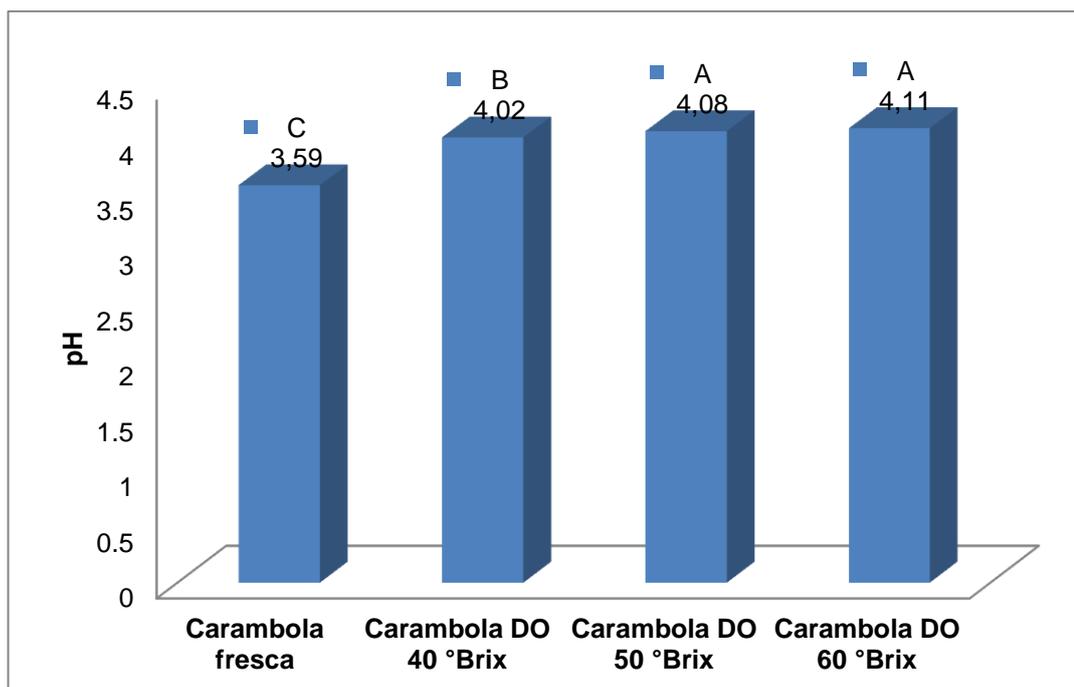
Tabla 5. Variación del pH después de la deshidratación osmótica en carambola

TRATAMIENTO	pH
40 °Brix	4.02 ± 0.0058 ^b
50 °Brix	4.08 ± 0.01 ^a
60 °Brix	4.11 ± 0.0379 ^a

*± desviación estándar de 3 repeticiones

Letras diferentes en una misma columna indica diferencia significativa (p<0.05)

Sin embargo, los valores de pH aumentaron con relación de la carambola fresca, este hecho podría deberse al ingreso de solutos de la solución osmótica al interior de la fruta como se observa en la Figura 8. Se determinó diferencias significativas con la carambola fresca y los diferentes tratamientos.



Letras mayúsculas distintas indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para un mismo tiempo de inmersión con una $p < 0,05$. $LSD = 0.068$.

Figura 8. Aumento del pH en relación con la carambola fresca

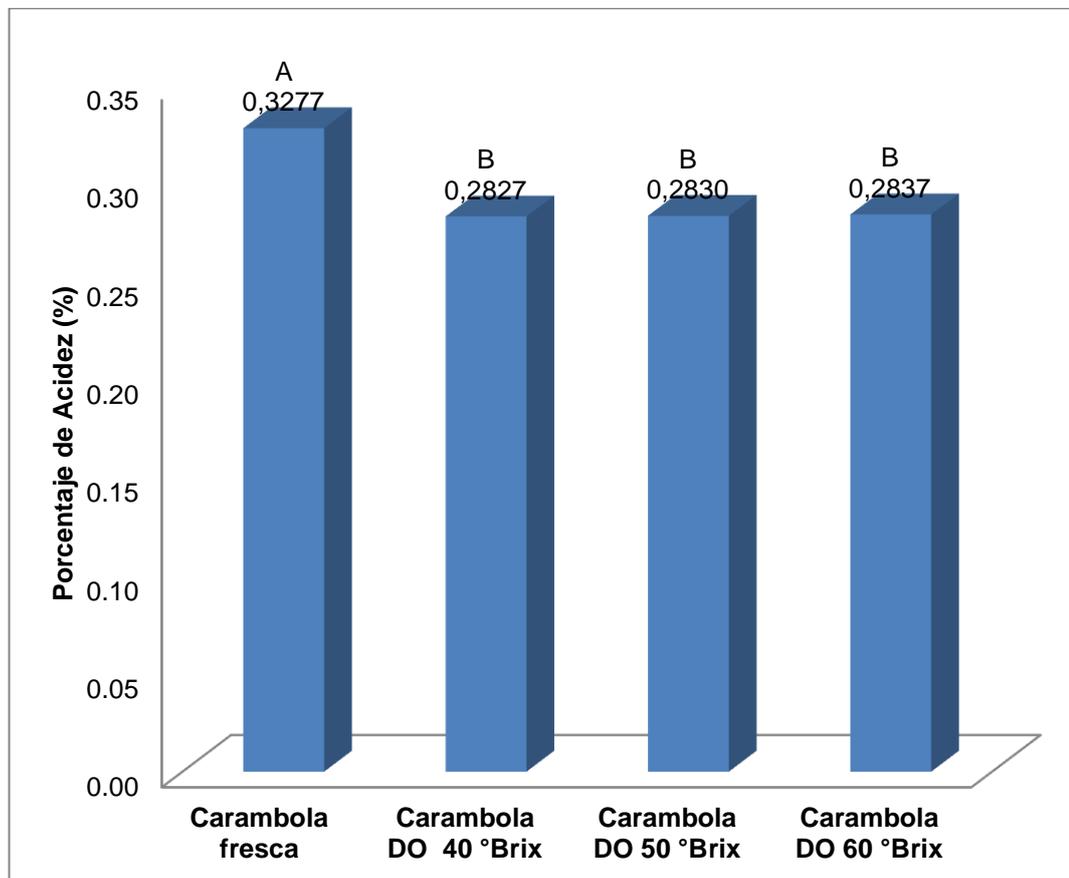
4.2.4. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN EL PORCENTAJE DE ACIDEZ

El análisis de varianza determinó que no existen diferencias significativas en el porcentaje de acidez de las rodajas de carambola deshidratadas osmóticamente por efectos de los diferentes tratamientos después de cuatro horas de inmersión como se observa en los datos de la Tabla 6.

Tabla 6. Variación del porcentaje de acidez después de la deshidratación osmótica en carambola

TRATAMIENTO	ACIDEZ
40 °Brix	0.2827 ± 0.0103
50 °Brix	0.2830 ± 0.0087
60 °Brix	0.2837 ± 0.0070

La Figura 9, indica que existieron diferencias significativas en el porcentaje de acidez de la carambola fresca y los diferentes tratamientos aplicados a las rodajas de carambola. Además se observa una disminución del $12\% \pm 1$ del porcentaje de acidez de las rodajas deshidratadas osmóticamente con respecto a las frescas. Este comportamiento se debe a que las rodajas de carambola aumentaron el contenido de pH como se observó anteriormente al ser sometidas al proceso de deshidratación osmótica, esto ocasiona que el porcentaje de acidez disminuya.



Letras mayúsculas distintas indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para un mismo tiempo de inmersión con una $p < 0,05$. $LSD = 0.0152$.

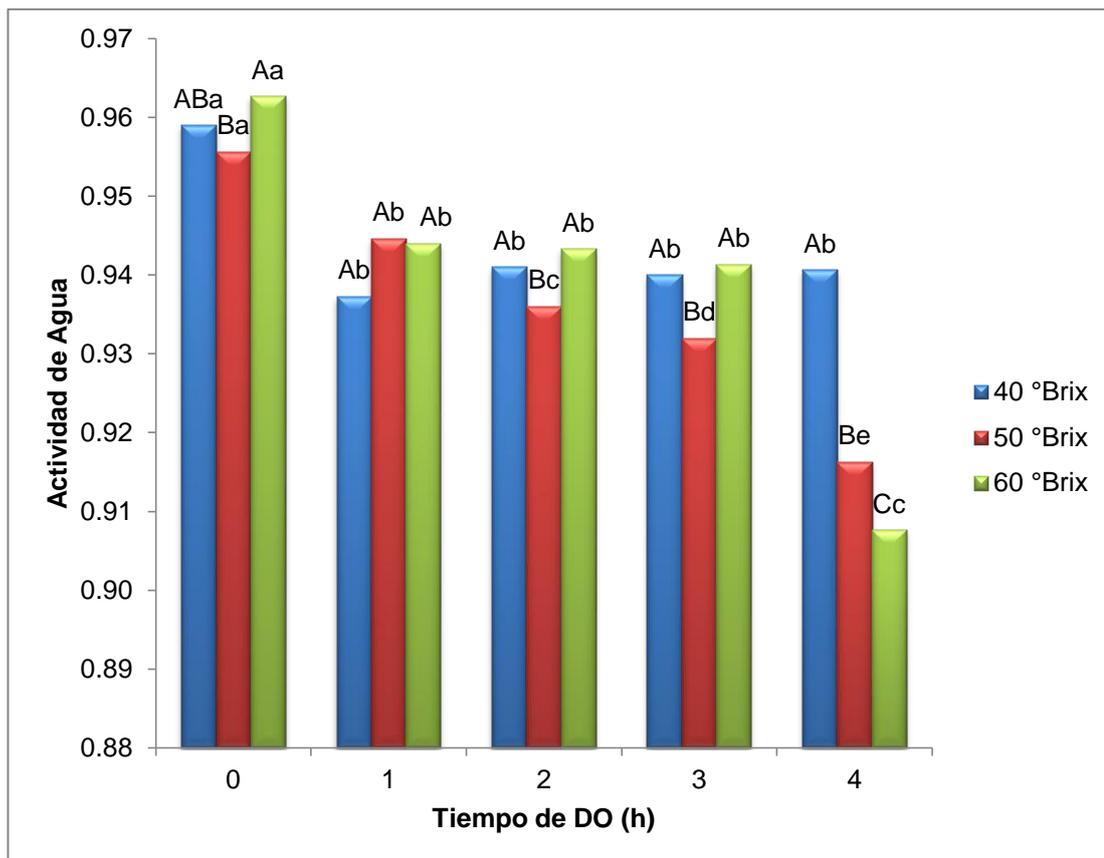
Figura 9. Variación del porcentaje de acidez entre carambola fresca y rodajas de carambola deshidratadas osmóticamente.

4.2.5. EFECTO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN LA ACTIVIDAD DE AGUA

Al realizar el análisis de varianza se encontró que en el tiempo 0, 1 y 2 existieron diferencias significativas entre los tratamientos de 40 - 50 °Brix y 50 - 60 °Brix mientras que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos de 40 - 60 °Brix; en el tiempo 1 se determinó que no hay diferencias significativas entre los diferentes tratamientos mientras que en el tiempo 4 si hubo.

Al analizar el tiempo de inmersión para cada tratamiento se determinó que a 50 °Brix existieron diferencias significativas para cada hora de deshidratación mientras que los tratamientos de 40 y 60 °Brix tuvo un comportamiento similar donde durante el tiempo de 1, 2 y 3 horas se determinó que no existe diferencias significativas mientras que si se dio diferencias significativas entre el tiempo 0 y 4 para ambos tratamientos como se observa en la Figura 10.

Este comportamiento puede ser debido a que las muestras se encontraban sumergidas en la solución osmótica lo cual no permitió que su actividad de agua disminuya considerablemente y al realizar el análisis se encontraban húmedas.



Letras mayúsculas distintas indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para un mismo tiempo de inmersión. Letras minúsculas distintas indican que existe diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo de inmersión para un mismo tratamiento con una $p < 0,05$. $LSD = 0.0055$.

Figura 10. Contenido de actividad de agua durante la deshidratación osmótica de carambola

4.2.6. ESTUDIO CINÉTICO DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA EN CARAMBOLA

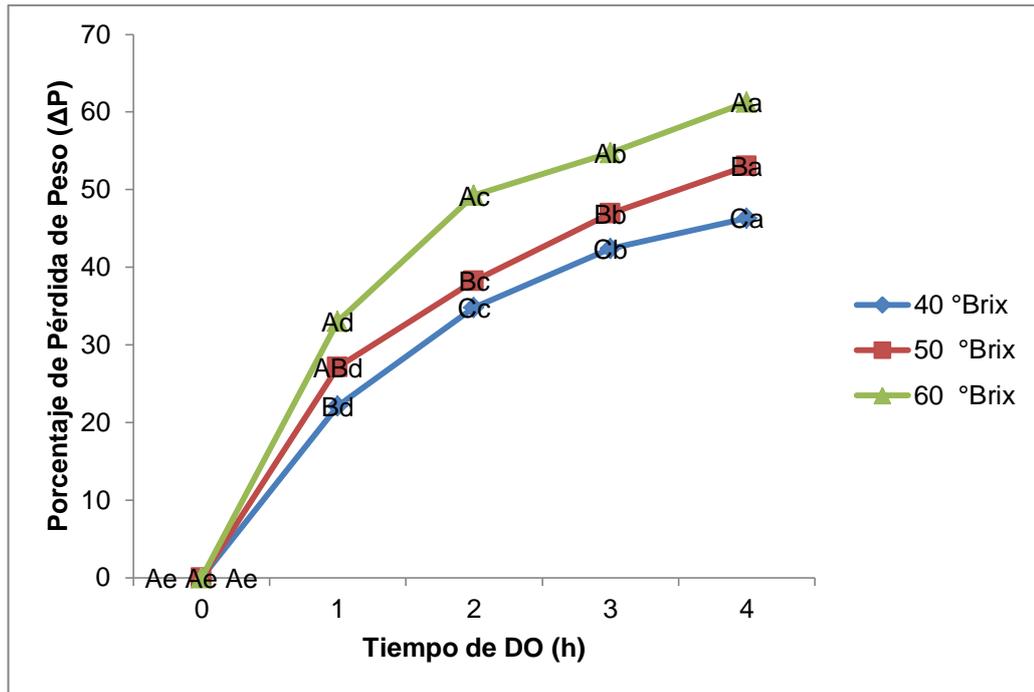
El estudio de la cinética de deshidratación osmótica en carambola se realizó en la ciudad de Quito en la planta piloto de la Universidad Tecnológica Equinoccial con una presión atmosférica de 0.72 atm. Todos los tratamientos se realizaron con una temperatura constante de 35 °C, agitación de 300RPM durante un tiempo de cuatro horas constante en todos los análisis realizados.

La cinética de deshidratación osmótica de carambola se determinó mediante la cantidad de pérdida peso, pérdida de agua y ganancia de sólidos de tres diferentes concentraciones de solución osmótica con el fin de determinar la mejor.

4.2.6.1. Efecto de la deshidratación osmótica en la pérdida de peso

La pérdida de peso fue calculada según la ecuación 2.1 para todos los tratamientos, como se puede observar en la Figura 11, al cabo de la primera hora existe una mayor pérdida en la cantidad de peso para cada tratamiento, en la segunda hora se refleja un comportamiento parecido a la primera hora mientras que las siguientes horas la pérdida de peso es más baja. En estudios con frutas como el Jackfruit existe igualmente una mayor pérdida de peso durante la primera hora mientras que las siguientes la pérdida es mínima (Aguilar, 2011).

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias estadísticamente significativas entre cada hora de deshidratación osmótica para un mismo tratamiento; también entre los diferentes tratamientos para un mismo tiempo de inmersión de 2, 3 y 4 horas se determinó diferencias estadísticamente significativas mientras que en el tiempo 1 no hubo diferencias significativas entre los tratamientos 50 – 60°Brix y 40 - 50°Brix, pero si entre los tratamientos 40 – 60°Brix como se demuestra en la Figura 11.



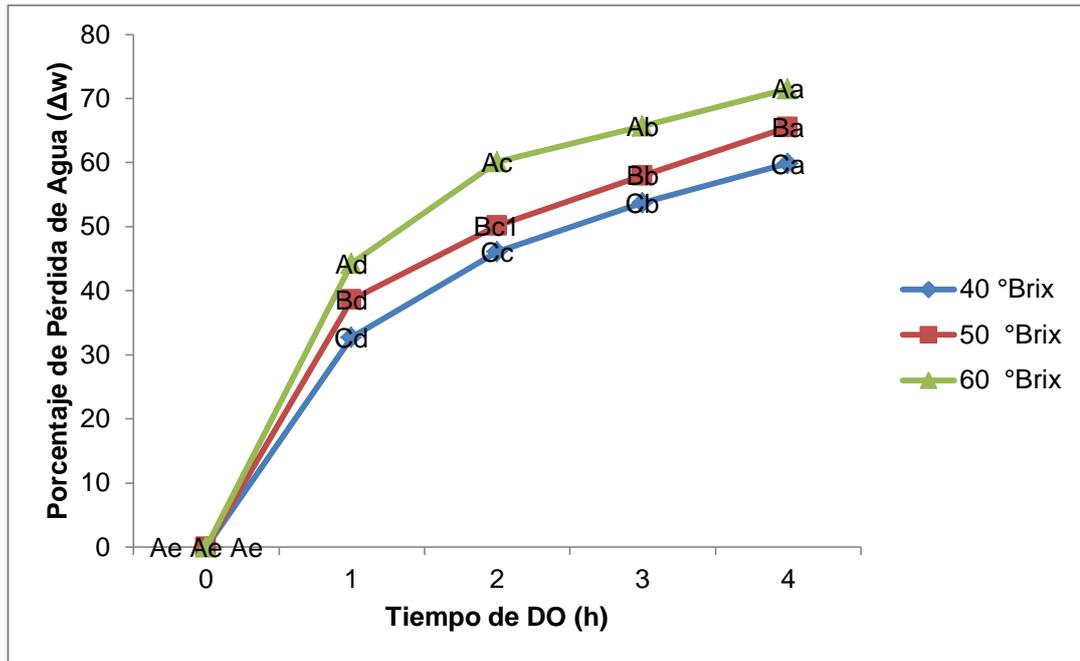
Letras mayúsculas distintas indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para un mismo tiempo de inmersión. Letras minúsculas distintas indican que existe diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo de inmersión para un mismo tratamiento con una $p < 0,05$. $LSD = 2.34$.

Figura 11. Pérdida de peso durante la deshidratación osmótica de carambola

La concentración de la solución osmótica ejerció una influencia directa con la pérdida de peso, ya que el tratamiento con 60°Brix presenta un 61,27% de pérdida de peso mientras que a 40°Brix la pérdida de peso fue de 46.31%.

4.2.6.2. Efecto de la deshidratación osmótica en la pérdida de agua

La pérdida de agua de carambola se estableció mediante la ecuación 2.2 para cada tratamiento como se observa en la Figura 12. Existe una drástica pérdida de agua durante la primera hora de cada tratamiento, esto coincide con lo reportado por Ramirez, Da Silva, y Gomes (2005), que expresó que la transferencia de masa toma lugar en las primeras dos horas del proceso para conseguir la pérdida de agua, siendo los cambios más fuertes en este periodo.



Letras mayúsculas distintas indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para un mismo tiempo de inmersión. Letras minúsculas distintas indican que existe diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo de inmersión para un mismo tratamiento con una $p < 0,05$. $LSD = 1.86$.

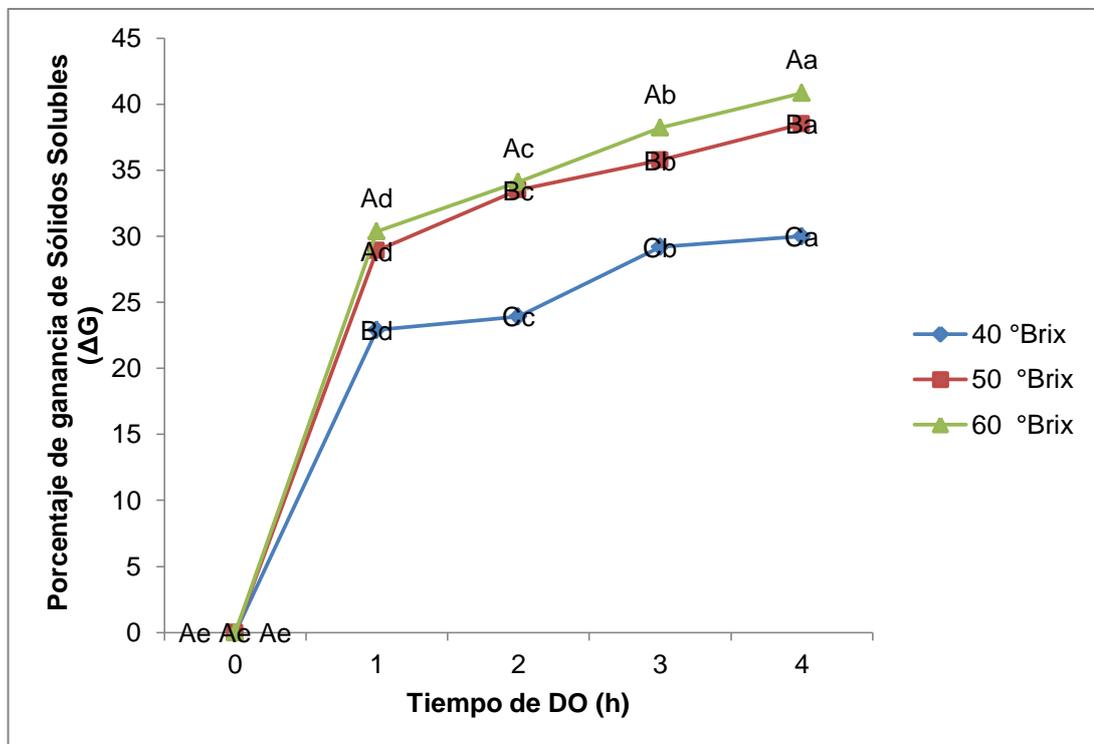
Figura 12. Pérdida de agua durante la deshidratación osmótica de carambola

El análisis de varianza reveló que existieron diferencias estadísticamente significativas entre cada hora del proceso para un mismo tratamiento; al igual que entre los diferentes tratamientos para un mismo tiempo de inmersión se determinó diferencias estadísticamente significativas como se mostró en la Figura 11.

En el tratamiento de solución osmótica de 60°Brix existe una mayor pérdida de agua durante cada hora de estudio comparado con los otros tratamientos alcanzando el $70\% \pm 2$ a las cuatro horas. Ceballos (2005) menciona que la pérdida de peso y agua durante la cinética de deshidratación osmótica de papaya, es más rápida al trabajar con disoluciones osmóticas concentradas, como es de esperar por el aumento de la fuerza impulsora del proceso, determinando así que mientras más alta es la concentración de la solución osmótica más será la pérdida de agua en la fruta.

4.2.6.3. Efecto de la deshidratación osmótica en la ganancia de sólidos solubles

La ganancia de sólidos solubles en las rodajas de carambola se estableció mediante la ecuación 2.3 para cada tratamiento como se observa en la Figura 13. Durante la primera hora de inmersión de la fruta en los diferentes tratamientos se observa un mayor porcentaje de ganancia de sólidos solubles mientras que a partir de la segunda hora la ganancia de sólidos solubles es más lenta.



Letras mayúsculas distintas indican que existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos para un mismo tiempo de inmersión. Letras minúsculas distintas indican que existe diferencias estadísticamente significativas entre el tiempo de inmersión para un mismo tratamiento con una $p < 0,05$. $LSD = 1.92$.

Figura 13. Ganancia de sólidos solubles durante la deshidratación osmótica de carambola

El análisis de varianza indicó que existieron diferencias estadísticamente significativas tanto en cada hora de inmersión para un mismo tratamiento y los diferentes tratamientos para un mismo tiempo de inmersión como se muestra en la Figura 11.

Con los resultados obtenidos se comprueba nuevamente que a mayor concentración de sólidos solubles existe una mayor incorporación de sólidos solubles en las rodajas de carambola.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Las curvas de deshidratación osmótica en rodajas de carambola durante cuatro horas de inmersión presentaron la típica tendencia de curvas de deshidratación.
- La concentración de la solución osmótica influyó de forma directa sobre la cinética de deshidratación osmótica, ya que a mayor concentración de la solución, los valores de pérdida de peso, de agua y ganancia de sólidos solubles aumentaron, esto evidencia que el gradiente de concentración entre la fruta y la solución osmótica al ser mayor favorece la velocidad de transferencia.
- La aplicación de deshidratación osmótica en rodajas de carambola con concentración 60°Brix en la solución osmótica presentó un contenido de humedad de 49%, sólidos solubles de 28°Brix, pH de 4 y porcentaje de acidez de 0.28.
- En la pérdida de peso se obtuvo el 61%, en la pérdida de agua 71% y la ganancia de sólidos de 41%.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se debería realizar un estudio de vida útil de las rodajas de carambola deshidratadas osmóticamente con el fin de poder industrializar el producto.
- Se recomienda tener un buen manejo con la solución osmótica ya que se la puede reutilizar ya sea nuevamente en el proceso de deshidratación osmótica o como materia prima en la formulación de otros productos
- Para la eficacia de este proceso es necesario optar por frutas que posean estructura celular rígida o semirígida, es decir aquellas que permitan su trozado como es el caso de la carambola ya que se la puede trozar en cubos, tiras, rodajas, entre otros. Por el contrario las frutas que presenten pulpa líquida no servirán a este proceso.
- Se debería realizar un estudio de la deshidratación osmótica de carambola a presión de vacío con el fin de lograr mejores resultados a menor tiempo.

BIBLIOGRAFÍA

- Barat, J., & Grau, A. y. F., Pedro. (1998). Deshidratación Osmótica de Alimentos (pp. 12). España: Servicio de Publicaciones.
- Barrera, C. (2001). Influencia de la estructura en la transferencia de masa durante la deshidratación osmótica y aplicación de la impregnación a vacío en el confitado de piña. España.
- Bekele, Y., & Ramaswamy, H. (Producer). (2010, noviembre). Going beyond conventional osmotic dehydration for quality advantage and energy savings. Retrieved from <http://www.ju.edu.et/ejast/sites/all/themes/wilderness/images/paper/ReviewPaper.pdf>
- Camacho, G. (2002). Procesamiento y Conservación de Frutas. Retrieved from <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obfrudes/p6.htm>
- Casaca, Á. (Producer). (2005, abril). SAG. SAG. Retrieved from <http://www.sag.gob.hn/files/Infoagro/Cadenas%20Agro/Hortofruticola/OtraInfo/GuiaFrutas/Carambola.pdf>
- Ceballos, G. (2005). Estudios en papaya minimamente procesada por deshidratación osmótica *Universidad Politécnica de Valencia*, 26.
- Conway, W., & Sams, C. (1984). *Possible mechanisms by which postharvest calcium treatment reduce decay in apples [Malus domestica, inoculation with Penicillium expansum]*: American Phytopathological Society.
- Correa, J. M., Rule, D., & Daum, P. (2001). Carambola. Retrieved from

- Crane, J. H. (Producer). (2005). Miami - Dade county. *Miami - Dade county*. Retrieved from http://miami-dade.ifas.ufl.edu/pdfs/tropical_fruit/LA%20CARAMBOLA.pdf
- Díaz Robledo, J. (2004). Descubre los frutos exóticos (pp. 281-283). Madrid: Capital Ediciones S. L.
- Dixon, G. M., & Jen, J. J. (1977). Changes of sugars and acids of osmovac-dried apple slices. *Journal of Food Science*, J. 42(44):1136-1142.
- FAO (Producer). (2006). FAO. Retrieved from http://www.fao.org/inpho_archive/content/documents/vlibrary/AE620s/Pfrescos/CARAMBOLA.HTM
- Fito, P., & Chiralt, A. (1997). *Osmotic Dehydration. An approach of the modelling of solid food-liquid operations*. In: *Food Engineering 2000* (Ed. P. Fito, E. Ortega-Rodríguez, and G.V. Barbosa-Cánovas ed.). New York.
- Fito, P., Chiralt, A., Serra, J., Mata, M., Pastor del Castillo, R., & Andrés, A. y. Q. S., Xian. (1995, mayo 1). Procedimiento de flujo alternado para favorecer los intercambios líquidos de productos alimenticios y equipo para realizarlo
- Genina Soto, P. (Producer). (2002). Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas. Retrieved from <http://oswaldoparra.files.wordpress.com/2008/10/12-deshidratacion2.pdf>
- Giangiaco, R., Torreggiani, D., & Abbo, E. (1987). Osmotic dehydration on fruits. Part I. Sugar exchange between fruits and extracting syrups. *Journal of Food Processes*, 11: 183-195.
- Heng, K., & Guilbert, S. y. C., J.L. (1990). Osmotic dehydration of papaya: influence of process variables on the product quality (pp. 831-848): *Food Technology*.

- Hidalgo, M., & Vargas, F. (2009). *Análisis del efecto del tipo de agente osmótico en la transferencia de masa durante el secado y en la vida útil del babaco deshidratado*. Escuela Superior Politecnica Del Litoral.
- Karel, M. (1975). Osmotic drying (pp. 348-357). New York: Fennema.
- Lerici, C., Pinnavaia, G., Dalla, R., & Bartolucci, L. (1985). Osmotic dehydration of fruit: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *Journal of Food Science*, 50, 1217 - 1219. 1262.
- MAGAP (Producer). (2000). Carambola Averrhoa L. Retrieved from http://www.magap.gov.ec/magapweb/BIBLIOTECA/AGRONEGOCIOS/PRODUCTOS%20PARA%20INVERTIR%20FRUTAS/carambola_mag.pdf
- Mercado, E., & Vidal, D. (1994). Deshidratación osmótica de manzana (Granny Smith) con diferentes soluciones osmóticas. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 44 (2), 117 -121.
- Moreno, J., Chiralt, A., Escriche, I., & Serra, J. A. (2000). Effect of blanching/osmotic dehydration combined methods on quality and stability of minimally processed strawberries. *Food Research International*, 33, 609-616.
- Munguruma, M., Katayama, K., & Nakamura, M. y. Y., M. (1987). Low-Temperature osmotic dehydration improves the quality of intermediate moistures meats (pp. 99-109): Meat Science.
- Oleaga, R. (2007). Conozcamos algo más sobre las frutas Retrieved febrero, 2010, from <http://frutas.consumer.es/documentos/conozcamos/intro.php>
- Orduz, J., & Rangel, J. (2002). *Frutales Tropicales Potenciales para el Piedemonte Llanero*. Colombia: Produmedios.

- Paredes, E. (2009). Estudios de cultivos agrícolas no tradicionales de exportación de Ecuador, from <http://es.scribd.com/doc/49968455/cultivos-exportaci%20%89%A4nacional>
- Ponting, J. D. (1973). Osmotic dehydration of fruits-recent modifications and applications (pp. 18-20): *Process Biochemistry*.
- Quijano, C. (2011). Estudio de la composición de volátiles y su evolución durante la deshidratación osmótica de la guayaba palmira ICA-1 (*Psidium guajava* L.) (pp. 91). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Ramirez, E., Da Silva, A., & Gomes. (2005). *Fermentado de jaca: estudo das características físico-químicas e sensorais* (Vol. 28): Campinas.
- Rastogi, N., Raghavarao, K., & K., N. (2005). Developments in osmotic dehydration *Emerging Technologies for food processing* (pp. 221-230). California: Food science and technology.
- Shi, J. (2008). *Food Drying Science and Technology Microbiology, Chemistry, Applications*. Pennsylvania: Y. H. Hui, C. Clary, M. Farid, O. Fasina, A. Noomhorm y J. Chanes.
- Suca, C., & Suca, R. (2010). Deshidratación osmótica de los alimentos. Retrieved from <http://es.scribd.com/doc/86078234/Deshidratacion-osmotica>
- Torregiani, D. (1996). *Technological aspects of osmotic dehydration in foods*. Pennsylvania: Barbosa-Cánovas, G. y Welti-Chanes. Techmonic publishing company.
- Torregiani, D., Forni, E., & Rizzolo, A. (2005). *Developments in osmotic dehydration*. California: Food science and technology.

Tregunno, N. y. G., H. (1996). Osmodehydrofreezing of apples structural and textural effects (pp. 471-479): Food Research International.

Zamora, R. (2008). Determinacion de humedad. Retrieved from <http://es.scribd.com/doc/7909616/Determinacion-de-Humedad>

ANEXO I

FIGURAS

PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE CARAMBOLA



Materia prima



Carambola cortada y pesada previo
DO



Rodajas de carambola en el proceso de deshidratación osmótico



Rodajas de carambola deshidratadas osmóticamente



Rodajas de carambola deshidratadas por aire caliente